



Розроблено методику для визначення коефіцієнта емісії енергозберігаючих стекол та покриттів з використанням приладів, виготовлених згідно ДСТУ ISO 8301:2007.



УДК 536.3:536.6:691.624

Л. В. Декуша, канд.техн. наук,
Л. Й. Воробйов, канд.техн. наук,
З. А. Бурова

*Інститут технічної теплофізики
НАН України*

КАЛОРИМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОРАДІАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СТЕКОЛ

Термомодернізація будівель та споруд неможлива без застосування енергоощадного покриття та енергоефективного скла в світлопрозорих конструкціях. Енергоефективне скло пропускає випромінення видимого діапазону спектру, але має низьке значення коефіцієнта емісії у інфрачервоному діапазоні, завдяки чому вікна з таким склом мають підвищене значення опору теплопередачі.

В Україні застосовують низькоемісійне скло як вітчизняного, так і закордонного виробництва, причому відсутність на даний час єдиної методики визначення терморадіаційних характеристик (ТРХ) енергоефективних стекол та покриттів призводить до розбіжностей у визначенні їх властивостей, а подекуди і цілеспрямованого покращення деяких характеристик з метою реклами в суто комерційних цілях.

Відомі методи та прилади для вимірювання ТРХ призначені, як правило, для роботи у видимому та ближньому ІЧ-діапазоні, що обмежує їх широке застосування для вимірювання теплозахисних характеристик енергоефективних стекол та покриттів. Значення коефіцієнта емісії поверхні скла використовують при тепловому розрахунку вікон і склопакетів, а визначають його згідно ДСТУ EN 673:2009 [1], за яким дослідження проводять шляхом вимірювань нормальних спектральних характеристик не менше ніж у 30 точках спектрального діапазону з наступним перерахунком в інтегральні напівсферичні величини, що вимагає застосування інфрачервоного спектрометра для середньої та ближньої ІЧ-ділянок. Власна приладова база для проведення таких досліджень в Україні здебільшого відсутня. Вартість ІЧ-спектрометра закордонного виробництва зі спектральним діапазоном до 25 мкм становить від 150 тис. до 500 тис. грн., а вартість приладу зі спектральним діапазоном до 50 мкм в 2-3 рази більша. Внаслідок тривалості та дороговизни таких досліджень, проводять їх, як правило, один раз при сертифікації нового типу енергоефективного скла при вже відпрацьованій технології виробництва, або взагалі використовують літературні дані для близьких аналогів.

В ІТТФ НАН України було розроблено унікальну установку моделі ИТРС-1 [2] для вимірювання інтегральних напівсферичних терморадіаційних характеристик дифузно та дзеркально відбиваючих поверхонь у довгохвильовій ділянці спектра інфрачервоного випромінення. Установка, яка рекомендована до застосування національними стандартами [1, 3], реалізує калориметричний метод вимірювання інтегральних напівсферичних ТРХ за первинної інформації про потоки теплового випромінення, отриманої із застосуванням термоелектричних перетворювачів теплового потоку. Проте, перешкодою для широкого впровадження установки моделі ИТРС-1 в практику досліджень енергоефективних стекол та покриттів є необхідність

застосування еталонних мір з відомим коефіцієнтом поглинання для визначення констант приладу при калібруванні.

Наразі актуальною проблемою є розробка методики для визначення коефіцієнта емісії енергозберігаючих стекол та покриттів, що може бути реалізована на власній приладовій базі, а саме – із застосуванням вже існуючих приладів, виготовлених згідно ДСТУ ISO 8301:2007 [4], якими оснащено провідні контрольно-вимірювальні лабораторії та сертифікаційні центри в Україні.

В ІТТФ НАН України проведено пошук аналітичних рішень з питань дослідження терморадіаційних характеристик покриттів; розроблено теоретичні засади методики вимірювань коефіцієнту емісії енергоефективних стекол та покриттів та проведено її експериментальне підтвердження з використанням установки ИТ-7С (рис. 1), призначеної для визначення теплового опору та коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів [5], яка також є розробкою ІТТФ НАНУ та не має аналогів в Україні.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд установки ИТ-7С:

1 – тепловий блок, 2 – електронний блок, 3 – блок термостатування опорних спаїв, 4 – кліматична камера.

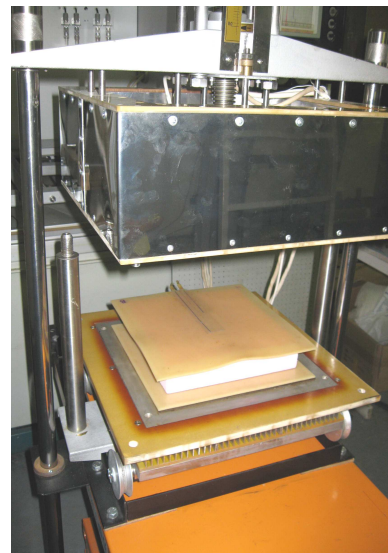
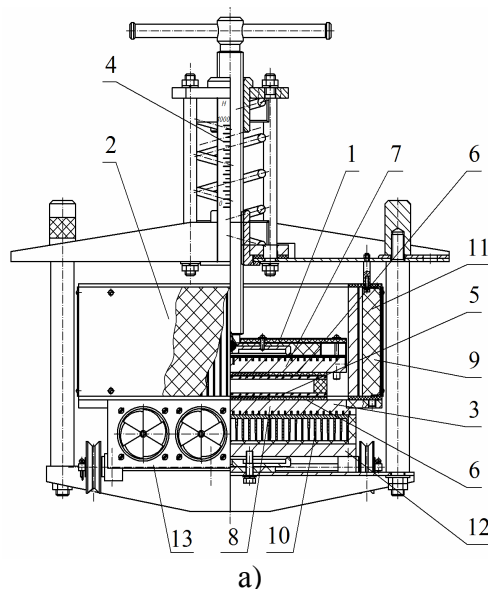


Рис. 2 – Тепловий блок установки ИТ-7С:

а) конструктивна схема: 1 – верхній нагрівний блок; 2 – блок бічної активної теплоізоляції; 3 – блок охолодження; 4 – притискний пристрій; 5 – пакет дослідних стекол; 6 – теплотричні блоки; 7, 8, 9 – електричні нагрівники; 10 – радіатор; 11 – теплова ізоляція; 12 – станина; 13 – блок вентиляторів;

б) розміщення дослідного пакету у вимірювальній комірці теплового блоку.

Для проведення вимірювань на установці ИТ-7С формують дослідний зразок у вигляді блоку (пакету) зі скла з повітряним проміжком заданої величини (рис. 2, а, поз. 5). Стекла розташовують паралельно одне до іншого, при цьому сторони з покриттям мають бути усередині, тобто звернені одна до іншої. Пакет стекол встановлюють у вимірювальну комірку теплового блоку установки ИТ-7С (рис. 2, б) і задають температури верхнього T_B і нижнього T_H нагрівника блоку таким чином, щоб перепад температури на поверхнях дослідного пакету становив приблизно 10 °С. У стаціонарному режимі вимірюють різницю температур ΔT , К на верхній і нижній поверхнях блоку стекол і тепловий потік $q_{сер}$, Вт/м², що проходить крізь цей блок. На підставі проведених вимірів розраховують тепловий опір пакету стекол $R_{пак}$ за формулою

$$R_{пак} = \frac{\Delta T}{q_{сер}}. \quad (1)$$

З іншого боку, враховуючи тепловий опір самих стекол $R_{ст}$ і теплообмін крізь повітряний прошарок, тепловий опір блоку стекол $R_{пак}$ дорівнює:

$$R_{пак} = 2R_{ск} + \left(\frac{l}{R_{нов}} + \frac{l}{R_{рад}} \right)^{-1} = \frac{2h_{ск}}{\lambda_{ск}} + \left(\frac{\lambda_{нов}}{h_{нов}} + 4\epsilon_{пр}\sigma T_{сер}^3 \right)^{-1}, \quad (2)$$

де тепловий опір скла та проміжку повітря дорівнюють, відповідно:

$$R_{ск} = \frac{h_{ск}}{\lambda_{ск}}, \quad R_{нов} = \frac{h_{нов}}{\lambda_{нов}}; \quad (3)$$

$h_{ск}$, $h_{нов}$ – товщина дослідного скла та повітряного проміжку відповідно, м;

$\lambda_{ск}$, $\lambda_{нов}$ – коефіцієнти теплопровідності скла та повітряного проміжку, Вт/м·К.

Величина, обернена радіаційній складовій теплового опору проміжку повітря

$\frac{l}{R_{рад}}$ становить

$$\frac{l}{R_{рад}} = 4\epsilon_{пр}\sigma T_{сер}^3 \quad (4)$$

де $\epsilon_{пр}$ – приведений коефіцієнт емісії пакету;

$T_{сер} = 0,5(T_B + T_H)$ – середнє значення температури пакету, К;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – стала Стефана-Больцмана.

З виразу (4) з урахуванням (1) – (3) отримаємо формулу для розрахунку $\epsilon_{пр}$:

$$\epsilon_{пр} = \left[\left(\frac{\Delta T}{q_{сер}} - \frac{2h_{ск}}{\lambda_{ск}} \right)^{-1} - \frac{\lambda_{нов}}{h_{нов}} \right] / 4\sigma T_{сер}^3. \quad (5)$$

Використовуючи отримане значення приведенного коефіцієнту емісії пакету ϵ_{np} та враховуючи, що для двох нескінченних паралельних пластин справедливим є вираз [6]

$$\epsilon_{np} = \frac{I}{2\epsilon_{нок}^{-1} - I}, \quad (6)$$

розраховують коефіцієнт емісії поверхні енергоефективного скла (покриття) $\epsilon_{нок}$ за формулою:

$$\epsilon_{нок} = \frac{I}{2\epsilon_{np}^{-1} + I}. \quad (7)$$

Таким чином, розроблена ИТТФ НАН України методика дозволяє провести розрахунок коефіцієнту емісії енергоефективного скла (покриття) на базі результатів прямих вимірювань значень теплових потоків, температури та геометричних розмірів дослідного пакету без перерахунків із застосуванням емпіричних коефіцієнтів, як в [1, 3].

Апробацію методики проведено шляхом дослідження чистих прозорих та затінених стекол, а також стекол з низькоемісійним м'яким (i-glass) та жорстким (k-glass) покриттям з варіюванням товщини скла та повітряного прошарку у дослідному пакеті. Результати представлено на рисунку 3.

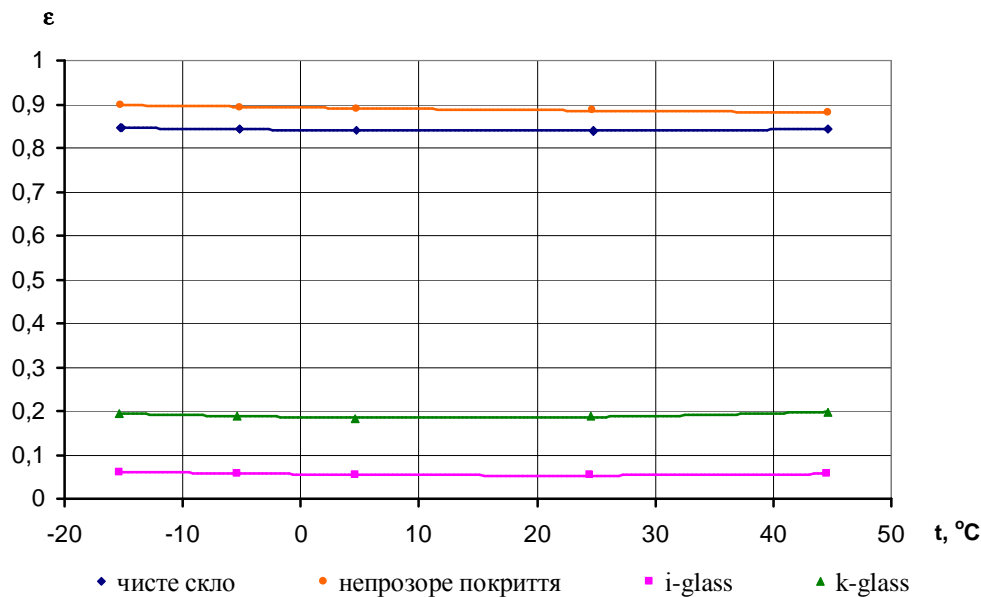


Рис. 3 - Коефіцієнт емісії поверхонь стекол різних типів

Результати випробувань методики показали, що одержані дані відповідають довідниковим та сертифікаційним даним для низькоемісійних стекол у межах похибки вимірювань.

Дана методика може знайти застосування як у наукових дослідженнях, так і для масових технічних вимірювань з метою контролю якості новостворених та випускаємих зразків стекол, чистих та з енергоефективними покриттями, для склопакетів, а також з метою сертифікації готової продукції. Впровадження методики дозволить оцінювати реальні ТРХ стекол та покриттів з використанням вже існуючого приладового обладнання вітчизняного виробництва на високому метрологічному рівні.

Література:

1. ДСТУ EN 673:2009 Скло будівельне. Методика визначення коефіцієнта теплопередавання багатошарових конструкції (EN 673:1997, IDT).
2. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г. и др. Установка для прямого измерения интегральных полусферических терморadiaционных характеристик энергоэффективных стекол и покрытий ИТРС-1 // «Оконные технологии», №23, 2006. – С. 36-39.
3. ДСТУ Б В.2.7-228:2009 Будівельні матеріали. Скло з низькоемісійним м'яким покриттям. Технічні умови (ГОСТ 31364-2007, MOD)
4. ДСТУ ISO 8301:2007 Теплоізоляція. Визначення теплового опору та пов'язаних із ним характеристик в усталеному режимі приладом із перетворювачем теплового потоку (ISO 8301:1991, IDT)
5. Бурова З., Воробйов Л., Декуша Л., Декуша О. Установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С // Метрологія та прилади. – Харків, 2009. – №6 – С. 9-15.
6. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕКОЛ

Л. В. Декуша, Л. И. Воробьев, З. А. Бурова

Разработана методика для определения коэффициента эмиссии энергосберегающих стекол и покрытий с использованием приборов, изготовленных согласно ДСТУ ISO 8301:2007.

CALORIMETRIC METHOD OF DETERMINATION OF THERMORADIATION DESCRIPTIONS OF ENERGYEFFECTIVE GLASSES

L. Dekusha, L. Vorobyov, Z. Burova

A method for determination of emission coefficient of energysaving glasses and coverages with the use of devices, which made in accordance with ДСТУ ISO 8301:2007, is developed.